

554,598

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété
Intellectuelle
Bureau international



(43) Date de la publication internationale
11 novembre 2004 (11.11.2004)

PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2004/097404 A1

(51) Classification internationale des brevets⁷ :

G01N 33/24

(21) Numéro de la demande internationale :

PCT/FR2004/050169

(22) Date de dépôt international : 22 avril 2004 (22.04.2004)

(25) Langue de dépôt :

français

(26) Langue de publication :

français

(30) Données relatives à la priorité :

0305291

29 avril 2003 (29.04.2003) FR

(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) : **INSTITUT FRANÇAIS DU PETROLE** [FR/FR]; 1 et 4 avenue de Bois Préau, F-92852 Rueil-Malmaison cedex (FR).

(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : **LENORMAND, Roland** [FR/FR]; 31 avenue Gabriel Péri, F-92500 Rueil-Malmaison (FR). **EGERMANN, Patrick** [FR/FR]; 6 avenue Alsace Lorraine, Bâtiment K, F-92500 Rueil-Malmaison (FR). **BEHOT, Joelle** [FR/FR]; 11bis rue de la Libération, F-95450 Condecourt (FR).

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasién (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée :

- avec rapport de recherche internationale
- avant l'expiration du délai prévu pour la modification des revendications, sera republiée si des modifications sont requises

En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.

(54) Title: METHOD FOR DETERMINATION OF THE FORMATION FACTOR FOR A SUBTERRANEAN DEPOSIT FROM MEASUREMENTS ON DRILLING WASTE REMOVED THEREFROM

(54) Titre : MÉTHODE D'ÉVALUATION DU FACTEUR DE FORMATION D'UN GISEMENT SOUTERRAIN À PARTIR DE MESURES SUR DES DÉBRIS DE FORAGE QUI Y SONT PRÉLEVÉS

(57) Abstract: The invention relates to a method and device for the determination of the formation factor for subterranean regions from bore cuttings. The device comprises a cell (1), connected to a device for the measurement of the electrical conductivity of the cell along with the contents thereof. The cell containing the bore cuttings is filled with a first electrolyte solution (A), of known conductivity (σ_A). After saturation of the bore cuttings with the first solution (A), the global electrical conductivity ($\sigma^*_{A/B}$) of the cell and the contents thereof is determined. After removal of the first solution (A), the cell containing the bore cuttings is filled with a second electrolyte solution (B) of known conductivity (σ_B) and the global electrical conductivity ($\sigma^*_{B/A}$) of the cell containing the second solution and the bore cuttings saturated with the first solution, is determined. The formation factor (FF) for the bore cuttings is derived by combination of the measures. The above is of application to the petrophysical characterisation of deposits.

(57) Abrégé : Méthode et dispositif pour évaluer le facteur de formation de zones souterraines à partir de déblais de forage. Le dispositif comprend une cellule (1) associée à un appareil de mesure de la conductivité électrique de la cellule avec son contenu. On remplit la cellule contenant les déblais de forage avec une première solution électrolytique (A) de conductivité connue (σ_A). Après saturation des déblais de forage par la première solution (A), on détermine la conductivité électrique globale ($\sigma^*_{A/B}$) de la cellule avec son contenu. Après évacuation de la première solution (A), on remplit la cellule contenant les déblais de forage avec une seconde solution électrolytique (B) de conductivité connue (σ_B), et on détermine la conductivité électrique globale ($\sigma^*_{B/A}$) de la cellule contenant la seconde solution ainsi que les déblais saturés par la première solution. On en déduit le facteur de formation (FF) des déblais par combinaison des mesures. Applications à la caractérisation pétrophysique de réservoirs.

WO 2004/097404 A1

5

**METHODE D'EVALUATION DU FACTEUR DE FORMATION D'UN
GISEMENT SOUTERRAIN A PARTIR DE MESURES SUR DES DEBRIS DE
FORAGE QUI Y SONT PRELEVES**

10 **Désignation du domaine technique**

La présente invention concerne une méthode et un dispositif d'évaluation du facteur de formation de zones souterraines à partir de déblais de roche remontés à la surface lors d'opérations de forage de puits au travers de gisements souterrains.

Dans le domaine de la caractérisation pétrophysique, il est une donnée très
15 importante qui conditionne l'interprétation des diagraphies électriques pour l'évaluation de la saturation en eau dans les gisements, c'est le Facteur dit de Formation (ci-après en abrégé : FF) qui est défini comme le rapport entre la conductivité d'un liquide conducteur seul (σ_w) et la conductivité du milieu poreux saturé par ce même liquide conducteur (σ_0),

soit $FF = \frac{\sigma_w}{\sigma_0}$.

20 Comme liquide conducteur, on utilise de préférence de la saumure ou un autre liquide conducteur équivalent.

La connaissance de ce facteur de formation permet aux compagnies opératrices d'obtenir une première caractérisation pétrophysique d'un gisement peu de temps après le forage des puits et par voie de conséquence, une bonne évaluation des quantités
25 d'hydrocarbures en place.

Etat de la technique

Avec les techniques actuelles, le facteur de formation est obtenu par l'intermédiaire de mesures au laboratoire sur des carottes de gisement. Ces méthodes sont chères du fait des coûts de carottage et de la mesure elle-même, et les résultats ne sont disponibles que
5 plusieurs mois après le forage.

L'acquisition des mesures expérimentales de conductivité sur carotte repose sur un matériel classique utilisé dans la plupart des laboratoires de pétrophysique, que l'on trouve déjà mis en œuvre par exemple dans le brevet FR 2.781.573 (US 6.229.312) du demandeur ou dans la publication suivante :

- 10 - Sprunt E.S., Maute R.E., Rackers C.I. : " An Interpretation of the SCA Electrical Resistivity ", The Log Analyst, pp 76-88, March-April 1990.

Pour palier les problèmes de coût élevé et les délais relativement important pour obtenir une mesure, des techniques de calcul du facteur de formation à partir des déblais de forage ont été développées. On peut citer par exemple le brevet US 2.583.284, qui décrit
15 différentes méthodes pour déterminer le facteur de formation à partir de mesures de conductivités effectuées sur des déblais de forage. Cependant, ces techniques sont très contraignantes sur un plan expérimental et les mesures sont relativement longues à obtenir.

La méthode selon l'invention

L'invention concerne une méthode pour évaluer de façon simple et rapide, tout en
20 s'affranchissant des problèmes liés aux techniques précédentes, le facteur de formation d'une zone souterraine à partir de déblais de forage remontés à la surface du forage de puits, dans laquelle on utilise un dispositif comprenant une cellule (1) adaptée à contenir des déblais de forage et pourvue d'électrodes connectées à un appareil de mesure de la conductivité du contenu de la cellule. La méthode comporte au moins les étapes suivantes :

- 25 - on nettoie lesdits déblais avant de les disposer dans la cellule;
- on remplit la cellule d'une première solution électrolytique (A) de conductivité connue (σ_A) de façon à saturer les déblais de forage par cette première solution électrolytique (A);
- on mesure la conductivité électrique globale (σ_A^*) de la cellule avec son contenu ;

- on évacue la première solution électrolytique (A) restant entre les déblais hors de la cellule;
- on remplit la cellule d'une seconde solution électrolytique (B) de conductivité connue (σ_B);
- 5 - on détermine la conductivité électrique globale (σ_B^*) de la cellule contenant la seconde solution électrolytique (B) et les déblais saturés par la première solution électrolytique (A);
- on en déduit le facteur de formation (FF) des déblais à partir des mesures précédentes.

10 Selon l'invention, on peut saturer les déblais en gaz carbonique par injection de ce gaz dans la cellule, avant de remplir la cellule de la première solution électrolytique (A).

Les solutions électrolytiques peuvent être des saumures de concentrations différentes, la concentration et la conductivité de la première solution électrolytique (A) pouvant être supérieures à celles de la seconde solution (B).

15 Selon l'invention, on peut évacuer la première solution électrolytique (A) restant entre les déblais hors de la cellule par vidange gravitaire.

On peut aussi évacuer la première solution électrolytique (A) par une injection d'air. Dans ce cas, la pression de l'air injecté peut être déterminée en fonction de la taille des pores des déblais.

20 Dans le cas de vidange gravitaire, celle-ci peut être améliorée par désorption capillaire.

La désorption capillaire peut être effectuée à l'aide d'une membrane semi-perméable laissant passer la première solution électrolytique mais ne laissant pas passer l'air.

25 Enfin, selon l'invention, le facteur de formation peut être déterminé à partir de la théorie des champs moyens.

L'invention concerne également un dispositif pour la mise en œuvre de la méthode décrite ci-dessus. Ce dispositif comporte :

- des moyens de saturation en CO₂ des déblais contenus dans la cellule;
- des moyens de vidange rapide de la solution électrolytique comprise entre les déblais.

Selon l'invention lesdits moyens de vidange du dispositif peuvent comprendre une membrane semi-perméable, perméable à la saumure et imperméable à l'air.

5 **présentation succincte des dessins**

- la figure 1 montre schématiquement un dispositif de mesure de conductivités à quatre électrodes ;
- la figure 2 illustre l'état A obtenu dans un premier temps en remplissant avec un premier liquide A, la cellule contenant les déblais de forage ;
- 10 - la figure 3 illustre l'état B obtenu dans un deuxième temps après avoir échangé le liquide A par un autre liquide B ;
- La figure 4 illustre des données expérimentales montrant une dérive du signal de conductivité aux temps longs après une opération de vidange ;
- la figure 5A montre, sous forme de diagramme croisé, les résultats obtenus avec
15 l'approche auto-similaire ;
- la figure 5B montre, sous forme de diagramme croisé, les résultats obtenus avec l'approche dérivative ; et
- la figure 6 montre un tableau comparatif des résultats obtenus avec les deux méthodes envisagées (auto-similaire et dérivative) à partir des déblais et avec les mesures de
20 référence obtenues à partir d'expériences sur carotte.

Description détaillée

La méthode, selon l'invention, d'évaluation rapide du FF à partir de déblais de forage repose sur l'acquisition de données expérimentales obtenues en mesurant la conductivité des déblais de forage sous différentes conditions. Lorsque l'on mesure la
25 conductivité électrique d'une cellule contenant des fragments de roche, la conductivité dépend de la conductivité des fragments de roche mais aussi du liquide situé entre les fragments. La méthode proposée permet d'interpréter les mesures expérimentales en terme

de FF en utilisant des modèles théoriques. Deux cas d'application sont proposés. Ils montrent le très bon accord entre les valeurs de FF obtenues à partir de carottes et les valeurs de FF obtenues à partir des fragments de ces carottes sur une large gamme de FF.

L'invention propose une méthode et un dispositif permettant de calculer rapidement et de façon rigoureuse le facteur de formation, par utilisation, entre autre, de mesures de conductivités effectuées avec deux liquides conducteurs qui peuvent être miscibles.

Selon une mise en œuvre de l'invention, les deux liquides miscibles et conducteurs utilisés sont des saumures de concentrations différentes :

- liquide A : saumure concentrée à 75 g/l de sel, ce qui correspond à une conductivité de 9.88 (Ohm.m)⁻¹
- liquide B : saumure concentrée à 25 g/l de sel, ce qui correspond à une conductivité de 3.81 (Ohm.m)⁻¹ et qui donne un contraste de conductivité d'un facteur 3 environ.

Par saumure, il faut comprendre solution électrolytique permettant d'obtenir facilement des mesures de conductivités.

Le principe général de la méthode selon l'invention repose sur la mesure de quatre conductivités :

1. La conductivité de la première solution électrolytique (σ_A)
2. La conductivité de la cellule remplie par la première solution électrolytique et les déblais saturés par cette première solution (σ_A^*)
3. La conductivité de la seconde solution électrolytique (σ_B)
4. La conductivité de la cellule remplie par la seconde solution électrolytique et les déblais saturés par la première solution (σ_B^*)

Acquisition des données expérimentales

Le dispositif, permettant l'acquisition des mesures dans le cadre de la mise en œuvre de l'invention, est schématisé à la figure 1. Il est principalement constitué d'une cellule de confinement (1) de 3 cm de long et d'une surface circulaire de 9.48 cm² ce qui donne un volume total de 30 cm³ environ. Cela correspond à environ 15 cm³ de roche une

fois la cellule remplie. Cette cellule est réalisée en un matériau non conducteur. Elle est fermée à ses extrémités opposées par deux embouts 2, 3 faits d'un matériau conducteur. Un générateur à fréquence variable 4 est connecté entre les deux embouts 2, 3, et le courant qu'il applique est mesuré par un ampèremètre 5. A deux emplacements espacés le long du corps de la cellule 1 sont disposées des électrodes 6, 7 connectées à un voltmètre 8. Une pompe (9) permet d'introduire des liquides dans la cellule.

Dans un premier temps, on remplit la cellule (1) avec les déblais de forage (ou "cuttings"), préalablement nettoyés et séchés, et du gaz carbonique jusqu'à obtenir la saturation des déblais en gaz carbonique. Le volume de gaz injecté est tel que tous les pores des déblais sont remplis de gaz carbonique. Cette opération a pour but d'améliorer la saturation des déblais par la saumure grâce aux mécanismes de diffusion du CO₂ dans l'air et de la dissolution du CO₂ dans la saumure, et non par vide d'air, ce qui est plus difficile à mettre en œuvre.

Dans un second temps, on remplit complètement la cellule d'un liquide conducteur A (une saumure de concentration et donc de conductivité connue), jusqu'à saturation complète des déblais par dissolution du CO₂ dans la saumure, et l'on mesure la conductivité globale de la cellule et de son contenu que l'on note σ_A^* . Cet état, noté état A, est représenté sur la figure 2, où IA représente le liquide A dans l'espace inter-déblais et DA représente le liquide A dans les déblais.

Ensuite, on évacue le liquide A par vidange gravitaire et sous pression d'air (ou sous dépression de saumure).. La pression à exercer est fonction de la taille maximale des pores des déblais. En effet, une pression trop forte pourrait désaturer, même partiellement, les déblais. Cette pression ne doit donc être ni trop forte (désaturation partielle des déblais) ni trop faible pour limiter la présence de liquide A en inter-déblais. Elle se calcule aisément à partir des formules de Laplace.

Pour faciliter le drainage de la saumure inter-déblais tout en gardant les déblais saturés, il est également possible de procéder, en plus, à une désorption capillaire de l'espace inter-déblais occupé par le liquide A, à l'aide d'une membrane semi-perméable. La vidange de la saumure inter-déblais est alors contrôlée par la présence de cette membrane qui laisse passer la saumure mais pas l'air. On impose une pression d'air sur la cellule de manière à chasser la saumure inter-déblais sans pour autant désaturer la roche.

Une pression de 10 mbar (pouvant être contrôlée par une hauteur d'eau imposée dans un capillaire de 10 cm) permet alors d'assurer un bon drainage de l'espace inter déblais sans désaturer la roche et ce pour une large plage de perméabilité (l'air ne doit pas pouvoir rentrer dans le plus gros pore existant du milieu poreux dont la taille correspond à ce qu'on appelle la pression d'entrée).

Puis, après cette vidange rapide (drainage gravitaire aidée par une pression d'air) et efficace (utilisation d'une membrane semi-perméable et d'une pression d'air), on remplit la cellule avec un autre liquide conducteur B (saumure de concentration moins forte que la saumure A) sans changer la nature du liquide (saumure A) saturant les déblais.

Il faut effectuer les mesures avant que la diffusion du liquide B n'intervienne dans les pores des déblais en modifiant la saturation.

Dans la pratique, le temps disponible pour effectuer les mesures se déduit de la comparaison entre le temps de diffusion et le temps de drainage. La figure 4 illustre des données expérimentales montrant une dérive du signal de conductivité (la tension électrique en mV sur l'axe des ordonnées) aux temps (en mn sur l'axe des abscisses) longs après une opération de vidange ($t=0$). Elle montre clairement que l'effet (baisse de tension) de la diffusion de la la saumure inter-déblais n'est pas un phénomène rapide. Il faut plus d'une heure pour que l'on observe un effet notable sur les résultats. Cette figure 4 confirme donc que des techniques de vidange rapides sont opérationnelles pour appliquer la méthode à deux liquides miscibles.

A l'issue de cette phase, on a donc des déblais saturés en liquide A baignant dans un liquide B. On mesure alors la conductivité globale du système que l'on note σ_B^* . Cet état, noté état B, est représenté sur la figure 3, où IB représente le liquide B dans l'espace inter-déblais et DA représente le liquide A dans les déblais. De plus, les déblais n'ont pas été retirés de la cellule lors de la vidange et du remplissage par le second liquide B, ce qui permet de conserver la forme du milieu poreux et donc de rendre les mesures plus fiables (mesures équivalentes entre l'état A et l'état B). Les deux liquides utilisés étant des saumures, aucune précaution expérimentale particulière ne doit être considérée.

Si on utilise des saumures de salinité connue comme les liquides A et B, on peut déduire la valeur de leur conductivité à partir de tables telles que celles que l'on peut trouver dans la publication suivante :

- Worthington A.E., Hedges J.H., Pallatt N. :'' SCA Guidelines for sample preparation and porosity measurement of electrical resistivity samples'', The Log Analyst, pp 20-28, January-February 1990.

Dans un cas plus général, il est aussi possible de mesurer directement la valeur de la conductivité des liquides A et B à l'aide d'un conductimètre. On note alors σ_A et σ_B les conductivités des liquides A et B seuls.

Dans la procédure utilisée, il faut noter l'avantage d'utiliser en premier lieu la saumure la plus salée et la plus conductrice, et de remplacer l'espace inter-déblais par la saumure la moins salée. Cela permet de conserver le liquide le plus conducteur dans la roche pour favoriser la précision de la mesure du FF.

Interprétation des résultats expérimentaux en terme de FF

On considère que l'ensemble du volume est occupé par 2 types de milieux 1 et 2. La fraction volumique du milieu 1 est notée x et la fraction volumique du milieu 2 est notée y , égale à $1-x$. Dans la suite, on va toujours considérer que le milieu 1 représente le liquide A ou B inter-déblais et le milieu 2, les déblais de roche saturés. Les conductivités de chacun des milieux, liquide inter-déblais et déblais de roche saturés, sont notées σ_1 et σ_2 et la conductivité globale du système est notée σ^* .

Pour prendre en compte le caractère mélangé des deux milieux, la méthode selon l'invention a été mise en œuvre à partir de techniques issues de la théorie des champs moyens telle que décrite dans les publications suivantes,

- Berryman J.G. :'' Mixture Theories for Rock Properties'', Rock Physics and Phase Relation, pp 205-228, 1990 ; ou
- Bruggeman D.A.G. : ' Berechnung verschiedener physikalischer Konstanten von heterogenen Substanzen ', Ann. Physik. (Leipzig), 24, 636-679, 1935.

Toute autre méthode prenant en compte ce caractère "mélangé" pourrait être utilisée sans sortir du cadre de l'invention.

Suivant une première approche appelée auto-similaire, on peut écrire la relation suivante :

$$h(x) \times \frac{\sigma_1 - \sigma^*}{\sigma_1 + 2\sigma^*} + f(y) \times \frac{\sigma_2 - \sigma^*}{\sigma_2 + 2\sigma^*} = 0 \quad \text{avec : } h(x) = 1 - f(y)$$

où h et f sont des fonctions des fractions volumiques prenant en compte la forme des grains constituant les déblais. Par exemple, dans le cas de grains sphériques, on a la relation suivante : $f(y) = y^L$ avec $L = \frac{1}{3}$.

$$5 \quad \text{i.e.} \quad (1 - f(y)) \times \frac{\sigma_1 - \sigma^*}{\sigma_1 + 2\sigma^*} + f(y) \times \frac{\sigma_2 - \sigma^*}{\sigma_2 + 2\sigma^*} = 0 \quad (1)$$

On peut alors écrire l'équation précédente pour les deux états (A et B) mesurés expérimentalement :

$$\begin{aligned} \text{État A :} \quad & \sigma_1 = \sigma_A \\ & \sigma_2 = \sigma_A / FF \quad \sigma^* = \sigma_A^* \end{aligned}$$

$$(1 - f(y)) \times \frac{\sigma_A - \sigma_A^*}{\sigma_A + 2\sigma_A^*} + f(y) \times \frac{\sigma_A / FF - \sigma_A^*}{\sigma_A / FF + 2\sigma_A^*} = 0 \quad (2)$$

$$10 \quad \text{État B :} \quad \begin{aligned} & \sigma_1 = \sigma_B \\ & \sigma_2 = \sigma_A / FF \quad \sigma^* = \sigma_B^* \end{aligned}$$

$$(1 - f(y)) \times \frac{\sigma_B - \sigma_B^*}{\sigma_B + 2\sigma_B^*} + f(y) \times \frac{\sigma_A / FF - \sigma_B^*}{\sigma_A / FF + 2\sigma_B^*} = 0 \quad (3)$$

Les équations (2) et (3) peuvent aussi s'écrire

$$f(y) = \frac{1}{1 - \left(\frac{\sigma_A / FF - \sigma_A^*}{\sigma_A / FF + 2\sigma_A^*} \times \frac{\sigma_A + 2\sigma_A^*}{\sigma_A - \sigma_A^*} \right)} \quad (4)$$

$$f(y) = \frac{1}{1 - \left(\frac{\sigma_A / FF - \sigma_B^*}{\sigma_A / FF + 2\sigma_B^*} \times \frac{\sigma_B + 2\sigma_B^*}{\sigma_B - \sigma_B^*} \right)} \quad (5)$$

Les fonctions permettant de prendre en compte la forme des grains (h et f) sont inconnues et difficiles à estimer. L'intérêt de faire les mesures avec deux liquides inter-déblais apparaît alors nettement : la combinaison des équations (4) et (5) permet de
5 supprimer l'inconnue $f(y)$.

En effet, en combinant les équations (4) et (5), on obtient alors

$$\left(\frac{\sigma_A / FF - \sigma_A^*}{\sigma_A / FF + 2\sigma_A^*} \times \frac{\sigma_A + 2\sigma_A^*}{\sigma_A - \sigma_A^*} \right) = \left(\frac{\sigma_A / FF - \sigma_B^*}{\sigma_A / FF + 2\sigma_B^*} \times \frac{\sigma_B + 2\sigma_B^*}{\sigma_B - \sigma_B^*} \right) \quad (6)$$

En posant, $K_A = \left(\frac{\sigma_A + 2\sigma_A^*}{\sigma_A - \sigma_A^*} \right)$ $K_B = \left(\frac{\sigma_B + 2\sigma_B^*}{\sigma_B - \sigma_B^*} \right)$ $X = \sigma_A / FF$, on obtient
alors une équation du second degré que l'on sait résoudre de manière analytique,

$$(K_B - K_A)X^2 + [K_B(2\sigma_A^* - \sigma_B^*) - K_A(2\sigma_B^* - \sigma_A^*)]X + 2\sigma_A^*\sigma_B^*(K_A - K_B) = 0 \quad (7)$$

La résolution de cette équation donne toujours deux racines réelles car le discriminant est toujours strictement positif,

$$\Delta = [K_B(2\sigma_A^* - \sigma_B^*) - K_A(2\sigma_B^* - \sigma_A^*)]^2 + 8\sigma_A^*\sigma_B^*(K_B - K_A)^2$$

$$FF = \frac{2(K_B - K_A)\sigma_A}{-(K_B(2\sigma_A^* - \sigma_B^*) - K_A(2\sigma_B^* - \sigma_A^*)) \pm \sqrt{\Delta}} \quad (8)$$

15 Des deux solutions, on garde uniquement celle qui est physiquement acceptable ($FF > 0$).

Suivant une deuxième procédure, on utilise une approche dérivative et on peut écrire la relation suivante entre σ_1 (conductivité de l'espace inter-déblais), σ_2 (conductivité des déblais) et σ^* (conductivité globale du système),

$$\left(\frac{\sigma_2 - \sigma^*}{\sigma_2 - \sigma_1} \right) \left(\frac{\sigma_1}{\sigma^*} \right) = 1 - f(y) \quad (11)$$

L'équation précédente peut être appliquée pour les deux états (A et B) mesurés expérimentalement :

$$\begin{array}{lll} \text{État A :} & \sigma_1 = \sigma_A & \sigma^* = \sigma_A^* \\ & \sigma_2 = \sigma_A / FF & \end{array}$$

$$5 \quad \left(\frac{\sigma_A / FF - \sigma_A^*}{\sigma_A / FF - \sigma_A} \right) \left(\frac{\sigma_A}{\sigma_A^*} \right) = 1 - f(y) \quad (12)$$

$$\begin{array}{lll} \text{État B :} & \sigma_1 = \sigma_B & \sigma^* = \sigma_B^* \\ & \sigma_2 = \sigma_A / FF & \end{array}$$

$$\left(\frac{\sigma_A / FF - \sigma_B^*}{\sigma_A / FF - \sigma_B} \right) \left(\frac{\sigma_B}{\sigma_B^*} \right) = 1 - f(y) \quad (13)$$

En combinant les équations (12) et (13), on obtient alors directement une relation où la seule inconnue est FF :

$$10 \quad \left(\frac{\sigma_A / FF - \sigma_A^*}{\sigma_A / FF - \sigma_A} \right) \left(\frac{\sigma_A}{\sigma_A^*} \right) = \left(\frac{\sigma_A / FF - \sigma_B^*}{\sigma_A / FF - \sigma_B} \right) \left(\frac{\sigma_B}{\sigma_B^*} \right) \quad (14)$$

En posant maintenant, $K_A = \left(\frac{\sigma_A}{\sigma_A^*} \right)$, $K_B = \left(\frac{\sigma_B}{\sigma_B^*} \right)$ et $X = \sigma_A / FF$, on obtient alors une équation du second degré en X,

$$(K_A - K_B)X^2 - [K_A(\sigma_A^* + \sigma_B) - K_B(\sigma_B^* + \sigma_A)]X + K_A\sigma_A^*\sigma_B - K_B\sigma_B^*\sigma_A = 0 \quad (15)$$

Le discriminant de cette équation s'écrit :

$$15 \quad \Delta = [K_A(\sigma_A^* - \sigma_B) - K_B(\sigma_B^* - \sigma_A)]^2 + 4K_AK_B(\sigma_B^* - \sigma_A^*)(\sigma_A - \sigma_B)$$

et conduit à l'obtention de deux solutions réelles dont on garde uniquement la solution physique acceptable ($FF > 0$),

$$FF = \frac{2(K_A - K_B) \sigma_A}{(K_A(\sigma_A^* + \sigma_B) - K_B(\sigma_B^* + \sigma_A)) \pm \sqrt{\Delta}} \quad (16)$$

Validation de la méthode par comparaison avec des mesures de référence

- 5 Une série d'expériences a été réalisée à partir de roches de perméabilité et de porosité variées pour comparer les résultats obtenus sur déblais suivant les deux procédures détaillées précédemment avec des mesures obtenues par une procédure classique sur carotte.

- 10 L'ensemble des résultats est présenté sur les diagrammes croisés des figures 5A et 5B, où l'axe des ordonnées représente la valeur du FF mesuré sur carotte (FFC) et l'axe des abscisses la valeur du facteur de formation mesuré sur déblais avec respectivement la méthode auto-similaire (FFA) et la méthode dérivative (FFD). Le tableau de la figure 6 regroupe ces résultats pour différents échantillons (Ech) ayant des perméabilités (K) et des porosités (ϕ) différentes. Ces résultats mettent en évidence une très bonne corrélation entre
- 15 les mesures de référence et les mesures sur déblais. Des deux approches envisagées, auto-similaire ou dérivative, il semble que la deuxième donne les meilleurs résultats.

Il faut préciser que les méthodes de calcul dites "auto-similaire" et "dérivative" qui ont été mises en œuvre pour évaluer le facteur de formation selon la présente invention, n'ont été décrites qu'à titre d'exemples non limitatifs.

REVENDICATIONS

1) Méthode pour évaluer le facteur de formation d'une zone souterraine à partir de déblais de forage remontés à la surface du forage de puits, dans laquelle on utilise un dispositif comprenant une cellule (1) adaptée à contenir des déblais de forage et pourvue d'électrodes connectées à un appareil de mesure de la conductivité du contenu de la cellule, la méthode étant caractérisée en ce qu'elle comporte au moins les étapes suivantes :

- on nettoie lesdits déblais avant de les disposer dans la cellule;
- on remplit la cellule d'une première solution électrolytique (A) de conductivité connue (σ_A) de façon à saturer les déblais de forage par cette première solution électrolytique (A);
- on mesure la conductivité électrique globale (σ_A^*) de la cellule avec son contenu ;
- on évacue la première solution électrolytique (A) restant entre les déblais hors de la cellule;
- on remplit la cellule d'une seconde solution électrolytique (B) de conductivité connue (σ_B);
- on détermine la conductivité électrique globale (σ_B^*) de la cellule contenant la seconde solution électrolytique (B) et les déblais saturés par la première solution électrolytique (A) ;
- on en déduit le facteur de formation (FF) des déblais à partir des mesures précédentes.

2) Méthode selon la revendication 1, dans laquelle on sature les déblais en gaz carbonique par injection de ce gaz dans la cellule, avant de remplir la cellule de la première solution électrolytique (A).

3) Méthode selon l'une des revendications précédentes, dans laquelle les solutions électrolytiques sont des saumures de concentrations différentes.

4) Méthode selon l'une des revendications précédentes, dans laquelle la concentration et la conductivité de la première solution électrolytique (A) sont supérieures à celles de la seconde solution (B).

5) Méthode selon la revendication 1, dans laquelle on évacue la première solution électrolytique (A) restant entre les déblais hors de la cellule par vidange gravitaire.

6) Méthode selon l'une des revendications 1 ou 5, dans laquelle on évacue la première solution électrolytique (A) par une injection d'air.

5 7) Méthode selon la revendication 6, dans laquelle la pression de l'air injecté est déterminée en fonction de la taille des pores des déblais.

8) Méthode selon la revendication 5, dans laquelle le drainage gravitaire est amélioré par désorption capillaire;

9) Méthode selon la revendication 8, dans laquelle la désorption capillaire est
10 effectuée à l'aide d'une membrane semi-perméable laissant passer la première solution électrolytique mais ne laissant pas passer l'air;

10) Méthode selon la revendication 1, dans laquelle le facteur de formation est déterminé à partir de la théorie des champs moyens.

11) Dispositif pour la mise en œuvre de la méthode selon l'une des revendications 1
15 à 10, caractérisé en ce qu'il comporte :

- des moyens de saturation en CO₂ des déblais contenus dans la cellule;
- des moyens de vidange rapide de la solution électrolytique comprise entre les déblais.

12) Dispositif selon la revendication 11, dans lequel lesdits moyens de vidange comprennent une membrane semi-perméable, perméable à la saumure et imperméable à
20 l'air.

1/3

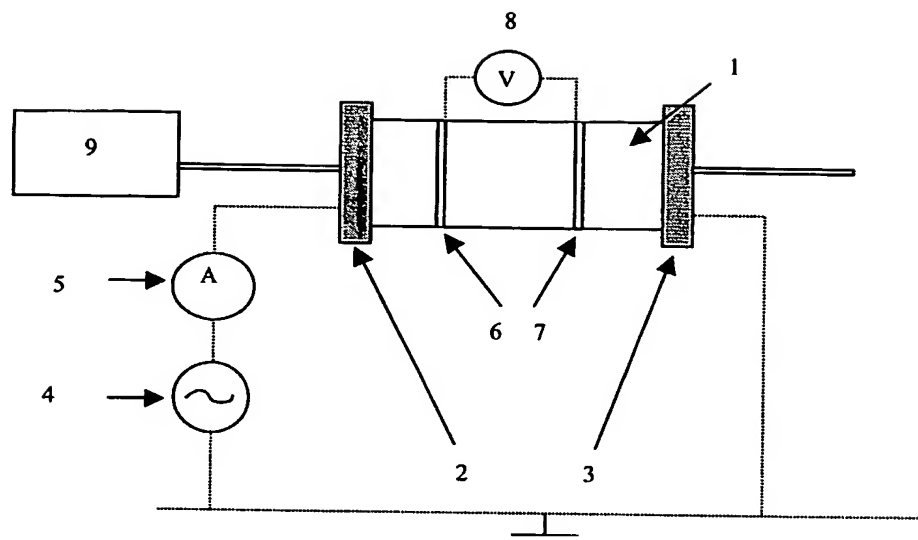


Fig.1

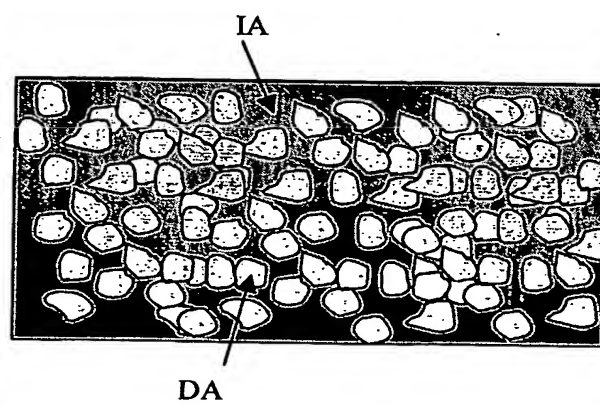


Fig. 2

2/3

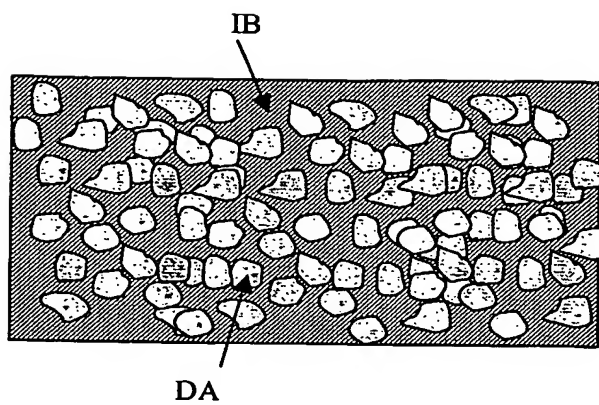


Fig. 3

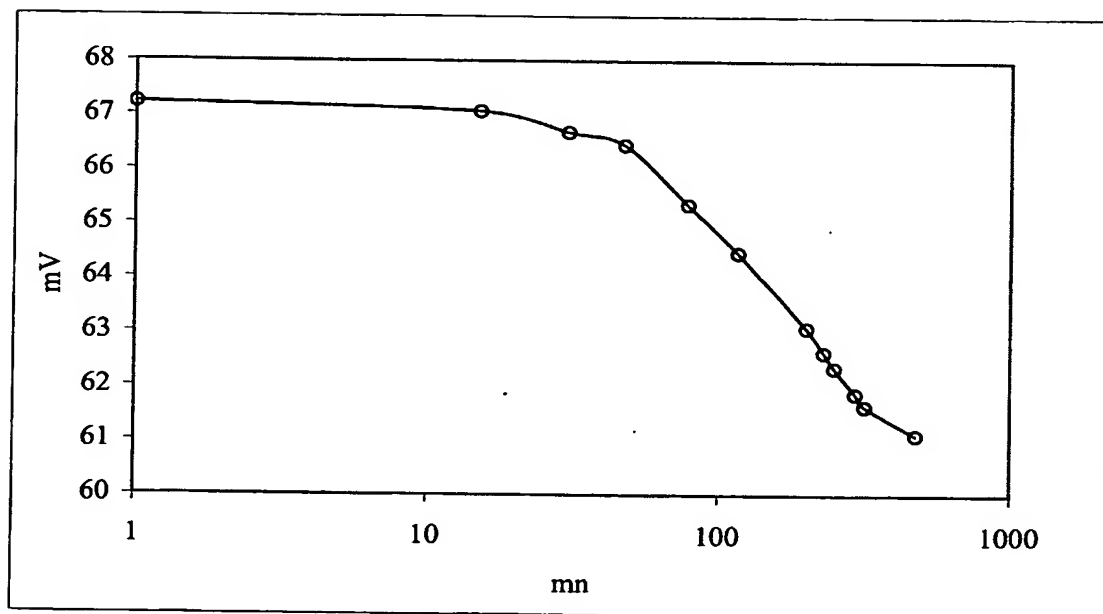


Fig. 4

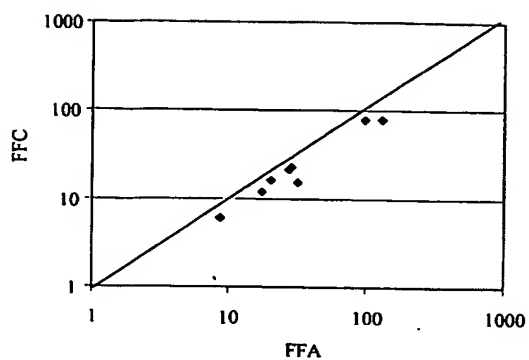


Fig.5A

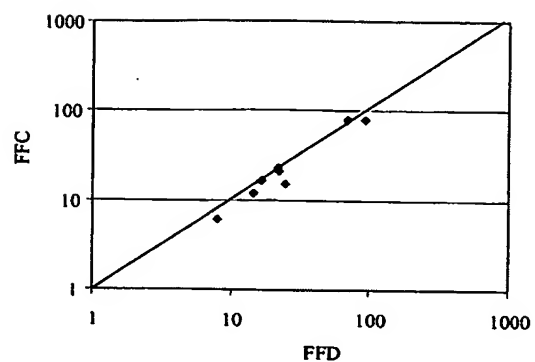


Fig.5B

Ech	K (md)	ϕ (%)	FFA	FFD	FFC
V8	450.00	23.80	27.37	22.08	21.33
Bri	15.00	23.00	28.73	21.73	22.83
Lav2	0.05	13.30	132.40	92.40	78.22
GDV2	96.50	22.20	20.78	16.40	16.48
LavJ	515.00	27.90	17.71	14.43	11.92
St Max	1700.00	39.20	8.74	7.89	6.02
Can1	0.31	11.30	99.11	69.63	79.75
Berea	230.00	19.70	31.87	24.66	15.32

Fig.6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

PCT/FR2004/050169

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
 IPC 7 G01N33/24

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
 IPC 7 G01N

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No
Y	US 2 583 284 A (HOGG GORDON A ET AL) 22 January 1952 (1952-01-22) cited in the application column 2, line 30 - line 42	1,2
Y	US 5 209 104 A (COLLINS SAMUEL H ET AL) 11 May 1993 (1993-05-11) abstract; figure 1	1,2
A	US 4 926 128 A (GIVENS WYATT W) 15 May 1990 (1990-05-15) abstract	1
A	WO 96/29616 A (SHELL CANADA LTD ; SHELL INT RESEARCH (NL)) 26 September 1996 (1996-09-26) abstract	1
	----- -/-	

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

*** Special categories of cited documents :**

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
- * & * document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

2 September 2004

Date of mailing of the international search report

18/10/2004

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B 5818 Patentlaan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk
 Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
 Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Duchatellier, M

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

PCT/FR2004/050169

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	<p>ARCHIE G E: "THE ELECTRICAL RESISTIVITY LOG AS AN AID IN DETERMINING SOME RESERVOIR CHARACTERISTICS" PETROLEUM DEVELOPMENT AND TECHNOLOGY, XX, XX, vol. 146, 1942, pages 54-62, XP008001923 cited in the application the whole document</p> <p>-----</p>	1
A	<p>WO 87/04790 A (EDINBURGH PETROLEUM DEV SERVIC ; UNIV HERIOT WATT (GB)) 13 August 1987 (1987-08-13) page 5, line 13 - page 6, line 6</p> <p>-----</p>	2

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

PCT/FR2004/050169

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2583284	A	22-01-1952	NONE	
US 5209104	A	11-05-1993	NONE	
US 4926128	A	15-05-1990	GB 2228572 A , B NO 900663 A	29-08-1990 14-08-1990
WO 9629616	A	26-09-1996	US 5923171 A AU 686938 B2 AU 5146996 A BR 9607657 A CA 2215728 A1 DE 69618935 D1 DE 69618935 T2 DK 815473 T3 EA 1131 B1 EG 20741 A WO 9629616 A1 EP 0815473 A1 ES 2171660 T3 NO 974327 A NZ 304312 A OA 10507 A RO 118780 B1	13-07-1999 12-02-1998 08-10-1996 16-06-1998 26-09-1996 14-03-2002 20-06-2002 13-05-2002 30-10-2000 29-12-1999 26-09-1996 07-01-1998 16-09-2002 20-11-1997 23-12-1998 24-04-2002 30-10-2003
WO 8704790	A	13-08-1987	EP 0258303 A1 WO 8704790 A1	09-03-1988 13-08-1987

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

PCT/FR2004/050169

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE
CIB 7 G01N33/24

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)

CIB 7 G01N

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés)

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie *	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no des revendications visées
Y	US 2 583 284 A (HOGG GORDON A ET AL) 22 janvier 1952 (1952-01-22) cité dans la demande colonne 2, ligne 30 - ligne 42	1,2
Y	US 5 209 104 A (COLLINS SAMUEL H ET AL) 11 mai 1993 (1993-05-11) abrégé; figure 1	1,2
A	US 4 926 128 A (GIVENS WYATT W) 15 mai 1990 (1990-05-15) abrégé	1
A	WO 96/29616 A (SHELL CANADA LTD ;SHELL INT RESEARCH (NL)) 26 septembre 1996 (1996-09-26) abrégé	1
	----- -/-	

☒ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

* Catégories spéciales de documents cités

- *A* document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
- *E* document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date
- *L* document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
- *O* document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens
- *P* document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

- *T* document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention
- *X* document particulièrement pertinent, l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément
- *Y* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier
- *Z* document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

2 septembre 2004

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

18/10/2004

Norm et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Duchatellier, M

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

PCT/FR2004/050169

C.(suite) DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no des revendications visées
A	<p>ARCHIE G E: "THE ELECTRICAL RESISTIVITY LOG AS AN AID IN DETERMINING SOME RESERVOIR CHARACTERISTICS" PETROLEUM DEVELOPMENT AND TECHNOLOGY, XX, XX, vol. 146, 1942, pages 54-62, XP008001923 cité dans la demande le document en entier</p>	1
A	<p>WO 87/04790 A (EDINBURGH PETROLEUM DEV SERVIC ; UNIV HERIOT WATT (GB)) 13 août 1987 (1987-08-13) page 5, ligne 13 - page 6, ligne 6</p>	2

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements

membres de familles de brevets

PCT/FR2004/050169

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2583284	A	22-01-1952	AUCUN	
US 5209104	A	11-05-1993	AUCUN	
US 4926128	A	15-05-1990	GB 2228572 A , B NO 900663 A	29-08-1990 14-08-1990
WO 9629616	A	26-09-1996	US 5923171 A AU 686938 B2 AU 5146996 A BR 9607657 A CA 2215728 A1 DE 69618935 D1 DE 69618935 T2 DK 815473 T3 EA 1131 B1 EG 20741 A WO 9629616 A1 EP 0815473 A1 ES 2171660 T3 NO 974327 A NZ 304312 A OA 10507 A RO 118780 B1	13-07-1999 12-02-1998 08-10-1996 16-06-1998 26-09-1996 14-03-2002 20-06-2002 13-05-2002 30-10-2000 29-12-1999 26-09-1996 07-01-1998 16-09-2002 20-11-1997 23-12-1998 24-04-2002 30-10-2003
WO 8704790	A	13-08-1987	EP 0258303 A1 WO 8704790 A1	09-03-1988 13-08-1987